

論文 / 著書情報
Article / Book Information

| | |
|-------------------|--|
| 論題(和文) | 高強度鋼を用いた制振構造建物の性能曲線による応答低減効果の評価 |
| Title(English) | Evaluation of Response Reduction Effect of Passive Control System Building Using High-Strength Steel by Performance Curve |
| 著者(和文) | 渡辺泰成, 佐藤利昭, 北村春幸, 佐藤大樹, 宮川和明, 植木卓也, 村上行夫, 戸張涼太 |
| Authors(English) | Yasunari WATANABE, Toshiaki Sato, Haruyuki Kitamura, Daiki Sato, Kazuaki Miyagawa, Takuya Ueki, Yukio MURAKAMI, Ryota TOBARI |
| 出典(和文) | 日本建築学会大会学術講演梗概集, vol. B-2, , pp. 283-284 |
| Citation(English) | , vol. B-2, , pp. 283-284 |
| 発行日 / Pub. date | 2016, 8 |
| 権利情報 | 一般社団法人 日本建築学会 |

高強度鋼を用いた制振構造建物の性能曲線による応答低減効果の評価

高強度鋼 性能曲線 正会員 ○渡辺泰成*1 同 佐藤利昭*2 同 北村春幸*3
 中低層建物 履歴減衰型ダンパー 正会員 佐藤大樹*4 同 宮川和明*5 同 植木卓也*6
 正会員 村上上行夫*6 同 戸張涼太*5

1. はじめに

近年では首都直下地震や南海トラフを震源とする巨大地震の発生が懸念されており、過去の震災被害の影響から、超高層建物だけではなく、中低層建物にも高い耐震性能が要求されている。このような背景から、著者らは、積載荷重の大きい物流倉庫に着目し、柱に高強度鋼を用いた制振構造建物を試案し、時刻歴応答解析から得られた応答値を基に耐震性能を評価してきた^{1),2)}。

本報は、時刻歴応答解析結果と併せて、等価減衰定数や等価周期から算出される応答低減効果に関しても言及することにより、作成した建物の耐震性能を評価することを目的とする。

2. 検討対象建物と検討用入力地震動の概要

2.1 検討対象建物の概要

検討対象建物は、物流倉庫のように積載荷重が大きい建物の一部を切り出した、平面：67.2 m × 41.6 m、高さ：30 m、階高：7.5 mの地上4階建ての鋼構造建物である。図1に検討対象建物の基準階伏図と長辺方向のダンパー設置構面の軸組図、表1に主架構断面を示す。表1に示すように、本報では文献2)で作成した3種類の柱断面と使用鋼材の組み合わせが異なる建物モデルを検討に用いる。SD-1.0は、長期荷重により主架構断面を決定したモデルで、本検討において基準となるモデルである。SD-1.5は、柱の断面係数がSD-1.0の約1.5倍大きい断面を用いたモデル、HD-0.6は、柱に降伏応力度が700 N/mm²級の高強度鋼を用い、柱の断面係数がSD-1.0の約0.6倍小さい断面を用いたモデルである。なお、梁はすべてのモデルで同一である。検討は長辺方向とし地震動は一方向入力とする。

ダンパーは、降伏応力度が225 N/mm²の低降伏点鋼を軸材とする座屈拘束ブレースとし、長辺方向に1層あたり24基設置する。

2.2 検討対象建物のモデル化

解析モデルは、スラブを剛床と仮定した立体骨組モデルを用い、

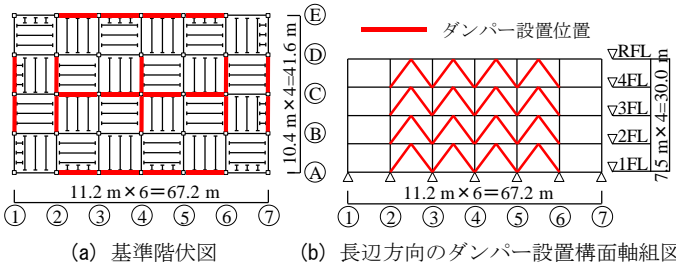


図1 検討対象建物の基準階伏図および軸組図

表1 主架構断面

| | 梁断面 (引張強さ:N/mm ²) | 柱断面 (引張強さ:N/mm ²) |
|--------|-------------------------------|-------------------------------|
| SD-1.0 | H-700×300×14×22 (490) | □-500×500×19~25 (490) |
| SD-1.5 | | □-550×550×25~32 (490) |
| HD-0.6 | | □-400×400×22~28 (780) |

スラブによる曲げ剛性増大率は1.5とした。時刻歴応答解析における構造減衰は、主架構のみの1次固有周期に対して初期減衰定数 h_0 が0.02となる初期剛性比例型とし、主架構のみに与える。基礎梁は弾性とした。

ダンパーは、両端をピン支持とし、軸方向変形のみを考慮した弾塑性モデルとした。第*i*層のダンパーの降伏層せん断力 ${}_dQ_{yi}$ は、

$${}_dQ_{yi} = {}_d\alpha_y \cdot \sum_{j=1}^n m_j \cdot g \cdot B_i \quad (1)$$

と表す。ここで、 ${}_d\alpha_y$ ：第1層のダンパーの降伏層せん断力係数、*n*：層数、 m_j ：第*j*層の質量、*g*：重力加速度、 B_i ：外力分布を A_i 分布とした場合の主架構の層せん断力分布である。解析上は、等価なヤング係数を用いて、弾性部と塑性化部を一要素でモデル化し、復元力特性は完全弾塑性型とした。 ${}_d\alpha_y$ は、文献2)と同様に、レベル2の地震動が入力した場合に、最大層間変形角が1/100 rad以下となるように定め、SD-1.0とSD-1.5で0.06、HD-0.6で0.08とした。

2.3 検討用入力地震動の概要

検討用入力地震動は、減衰定数*h*が0.05のとき、コーナー周期0.64s以降において擬似速度応答スペクトル ρS_v が80 cm/sで一定で、位相特性にJMA KOBE NS成分(1995年兵庫県南部地震)、HACHINOHE EW成分(1968年十勝沖地震)を用いた告示波を採用した。この地震動をART KOBE 80, ART HACHI 80と呼び、レベル2の地震動とする。レベル2の地震動の入力レベルを1.5倍した地震動をART KOBE 120, ART HACHI 120と呼ぶ。

3. 時刻歴応答解析結果

時刻歴応答解析より得られた最大層間変形角*R*と第1層の最大層せん断力係数 α_1 を図2に示す。図2(a)のレベル2の地震動が入力した場合には、基準モデルSD-1.0の主架構のみの応答も示す。

図2(a)より、ダンパーを付与したことで、*R*が大きく低減している

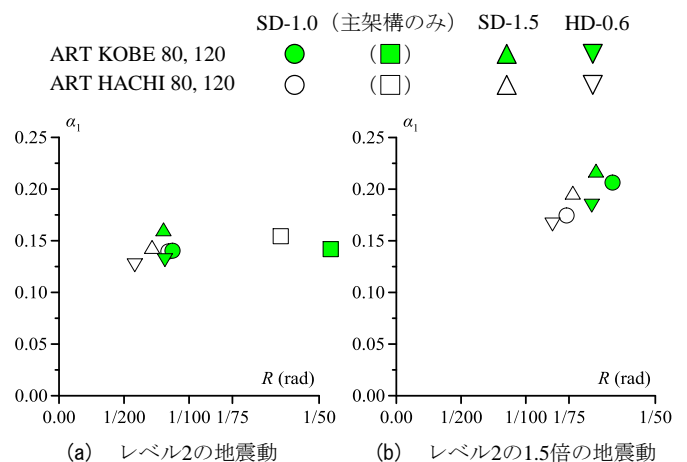


図2 時刻歴応答解析結果

ことがわかる。 R の差は、モデル間では小さい。 α_1 は地震動の入力レベルによらず、柱に高強度鋼を用いたモデル HD-0.6 が最も小さい。この要因を分析するために、次章では等価減衰定数と等価周期を用いた応答低減効果について検討を行う。

4. 等価線形化による応答低減効果の評価

4.1 等価減衰定数と等価周期の算出方法

本報の主架構は塑性化するため、主架構の塑性化による履歴減衰定数の増加を考慮する。主架構は、初期剛性 K_f 、降伏変位 u_{fy} 、2次剛性比 α_f となるバイリニア、ダンパーは初期剛性 K_d 、降伏変位 u_{dy} となる完全弾塑性型とし、ダンパーが先行して降伏するシステムとする。定常応答時の最大変位 u_{max} サイクルにおける主架構、ダンパーの履歴減衰定数 h_f, h_d は、主架構、ダンパーの最大塑性率 $\mu_f (= u_{max}/u_{fy}), \mu_d (= u_{max}/u_{dy})$ 、主架構とダンパーの剛性比 $r_d (= K_d/K_f)$ 、主架構とダンパーの最大塑性率比 $\gamma (= \mu_d/\mu_f)$ を用いて、

$$h_f = \frac{2(1-p)}{\pi\mu_f(p+\frac{r_d}{\mu_d})} = \frac{2(1-p)}{\pi\mu_f(p+\frac{r_d}{\gamma\cdot\mu_f})} \quad : \mu_f > 1 \quad (2)$$

$$h_d = \frac{2r_d(\mu_d-1)}{\pi\mu_d^2(p+\frac{r_d}{\mu_d})} = \frac{2r_d(\gamma\cdot\mu_f-1)}{\pi\gamma^2\mu_f^2(p+\frac{r_d}{\gamma\cdot\mu_f})} \quad : \mu_d > 1 \quad (3)$$

と表せる²⁾。ここで、 p は主架構の割線剛性 K_{eq} と K_f の比で、

$$p = (1 - \alpha_f + \alpha_f \cdot \mu_f) / \mu_f \quad : \mu_f > 1 \quad (4)$$

と表せる。 $\mu_f \leq 1$ で、 p は1である。

ランダム応答では、主架構の塑性率 μ_f' は、0から最大値までである。したがって、 μ_f' 時のシステムの等価減衰定数 h_{eq} は、各サイクルの定常応答の履歴減衰定数を平均し、初期減衰定数 h_0 を加えた、

$$h_{eq} = h_0 + \frac{1}{\mu_f} \int_0^{\mu_f} (h_f(\mu_f') + h_d(\mu_f')) d\mu_f' \quad (5)$$

で評価する³⁾。

4.2 応答低減効果の算出方法

等価減衰定数 h_{eq} は各層の等価減衰定数を各層の弾性歪エネルギーで重み付けすることで算出する⁴⁾。最大層間変位は時刻歴応答解析結果を用いる。主架構の初期剛性 K_f 、降伏変位 u_{fy} 、2次剛性比 α_f は、静的増分解析結果を用いた等価バイリニアから得られた諸元とする。等価周期 T_{eq} と第 i 層のシステムの等価剛性 K_{eqi} は、

$$T_{eq} = 2\pi \sqrt{\sum_{i=1}^4 \left(m_i \sum_{j=1}^i \frac{B_j}{K_{eqi}} \right)}, \quad K_{eqi} = p_i K_{fi} + \frac{K_{di}}{\mu_{di}} \quad (6, 7)$$

で算出する。(6),(7)式における添え字「 i 」は第 i 層を表す。検討用入力地震動の擬似速度応答スペクトル ${}_pS_v$ が一定の範囲における検討のため、変位低減率 R_d とせん断力低減率 R_a は、

$$R_d = D_h \frac{T_{eq}}{T_f}, \quad R_a = R_d \left(\frac{T_f}{T_{eq}} \right)^2, \quad D_h = \sqrt{\frac{1 + \alpha \cdot h_0}{1 + \alpha \cdot h_{eq}}} \quad (8 \sim 10)$$

で算出した⁵⁾。 D_h は減衰による応答低減係数であり、本報では、告示波を用いたため、 α を75として D_h を算出した⁵⁾。SD-1.0の主架構のみの弾性時の応答に対する低減率を評価するため、 T_f はSD-1.0の主架構のみの固有周期である2.57sとし、 h_0 は0.02とした。

4.3 応答低減効果による評価

(8),(9)式から得られた変位低減率 R_d 、せん断力低減率 R_a を図3に示す。図3には、SD-1.0の主架構のみの R_d, R_a 、等価減衰定数 h_{eq} および T_{eq}/T_f をそれぞれ併記した。

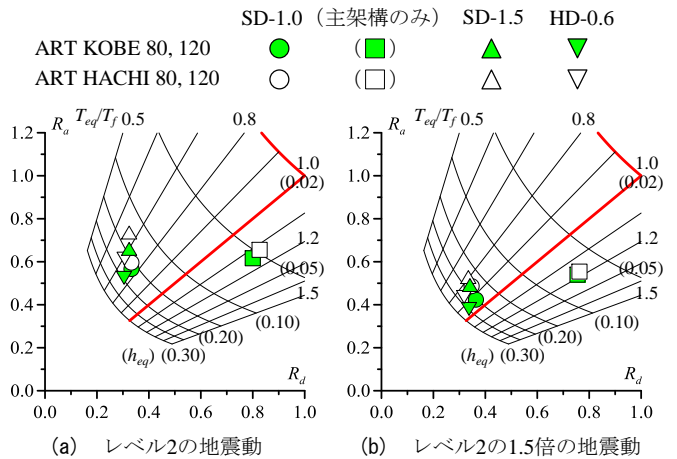


図3 応答低減効果

図3より、ダンパーを付与したことで h_{eq} が大きくなり、等価周期 T_{eq} が小さくなり、基準モデルSD-1.0の主架構のみの応答と比べて、 R_d, R_a 共に小さくなっていることがわかる。各モデルの R_d に差はほとんどない。一方で、 R_a には差が表れており、柱に高強度鋼を用いたモデルHD-0.6がSD-1.0より R_d と R_a が小さいのは、プロットが左斜めに移動していることから、 h_{eq} の増大によるためだと考えられる。

5. まとめ

本報は、前報で作成した建物モデルを対象に、時刻歴応答解析結果と併せて、等価減衰定数や等価周期から算出される応答低減効果についても検討した。以下に得られた知見を示す。

- 1) 告示波を用いた時刻歴応答解析より、最大層間変形角のモデル間の差は小さいが、第1層の最大層せん断力係数は、柱に高強度鋼を用いたモデルが最も小さくなった。
- 2) 等価減衰定数と等価周期を用いた応答低減効果の検討から、柱に高強度鋼を用いたモデルは等価減衰定数が大きくなり、せん断力の低減が他のモデルより大きくなることわかった。

参考文献

- 1) 渡辺泰成, 佐藤利昭, 北村春幸, 宮川和明, 植木卓也: 高強度鋼と履歴減衰型ダンパーを用いた高耐震中低層建物の耐震性能評価, 日本建築学会構造工學論文集, Vol.61B, pp.429-438, 2015.3
- 2) 渡辺泰成, 佐藤利昭, 佐藤大樹, 北村春幸, 宮川和明, 植木卓也, 村上行夫, 戸張涼太: 柱に高強度鋼を用いた中低層制振構造建物の耐震性能評価, 日本建築学会関東支部研究報告集, CD-ROM 2083, pp.553-556, 2016.3
- 3) 蒲武川, 笠井和彦: 弾塑性ダンパーを用いた多層RC構造の地震応答制御設計法, 日本建築学会構造系論文集, 第78巻, 第685号, pp.461-470, 2013.3
- 4) 日本振振構造協会: バッパ制振構造設計・施工マニュアル 第3版, 2013.7
- 5) 笠井和彦, 伊藤浩資, 渡辺厚: 等価線形化手法による一質点弾塑性構造の最大応答予測, 日本建築学会構造系論文集, 第571号, pp.53-62, 2003.9

*1 戸田建設 (元東京理科大学) *2 九州大学大学院
*3 東京理科大学 *4 東京工業大学
*5 JFE シビル *6 JFE スチール

*1 Toda Corporation *2 Kyushu Univ.
*3 Tokyo Univ. of Science *4 Tokyo Institute of Technology
*5 JFE Civil Engineering & Construction Corp. *6 JFE Steel Corp.